

## KP22

### Teknisk Reduktionspotentiale og Omstillingshastighed

#### TRP27: Biokul fra pyrolyse af halm mm.

**Kontor/afdeling**  
SYS

**Dato**  
23-09-2022

**J nr.**

/TMO, MHVD, STNI

## Indholdsfortegnelse

|   |    |
|---|----|
| 1. Introduktion .....                                   | 2  |
| 2. Metode og antagelser .....                           | 2  |
| 3. Teknisk reduktionspotentiale i 2030 og 2035 .....    | 10 |
| 4. Overlap mellem reduktionspotentialer .....           | 10 |
| 5. Omstillingshastighed .....                           | 11 |
| 6. Nyt i forhold til KP21 .....                         | 12 |
| 7. Refleksion og mulig udvikling til fremtidig KP ..... | 12 |
| 8. Kilder .....   | 13 |

### Energistyrelsen

Carsten Niebuhrs Gade 43  
1577 København V

T: +45 3392 6700  
E: ens@ens.dk

[www.ens.dk](http://www.ens.dk)



## 1. Introduktion

Dette notat beskriver et teknisk reduktionspotentiale ved anvendelse af biokul i mineraljord i landbruget. Der er tale om et teoretisk potentiale baseret på tilgængelige biomassepotentialer. Der gøres ikke overvejelser om økonomi eller mulige tekniske begrænsninger for indfasningsprofilen. Der er pt. mange usikkerheder knyttet til vurderingen af reduktionspotentialet, herunder forskellen mellem effekten af at anvende forskellige typer biomasse til produktionen af kullene. Biokul kan produceres ved en pyrolyseproces. Pyrolyse er opvarmning af biomasse til høje temperaturer under fravær af ilt, hvor biomassen i processen omdannes til biokul, pyrolysegas og pyrolyseolie.

Pyrolyseprocessen kan binde omkring 35-60 pct. af biomassens kulstofindhold i biokul. Biokullet kan anvendes på landbrugsjord, og binder på den måde kulstof i jorden. Kulstofbindingen vil kunne medregnes som et optag af CO<sub>2</sub> på Danmarks drivhusgasregnskab, idet der dog udestår metodeudvikling. Pyrolysegas og -olie kan desuden anvendes til energiformål og dermed potentielt substituere fossile brændsler, men dette aspekt er ikke inkluderet i reduktionspotentialeopgørelsen i dette notat. Notatet her ser primært på reduktionspotentialet i landbrugssektoren ved nedpløjning af biokul i mineraljord.

I *Aftale om grøn omstilling af dansk landbrug* af 4. oktober 2021 indgår en storskalaudrulning med pyrolyseanlæg frem mod 2030 mhp. produktion af biokul til anvendelse på danske landbrugsarealer med det formål at reducere drivhusgasudledningerne i landbrugssektoren. Dette udviklingsinitiativ indgår i landbrugsaftalen med et reduktionspotentiale på 2 mio. ton CO<sub>2</sub>e i 2030.

Pyrolyse er en teknologi, der er på forsøgsstadiet i Danmark. Der er opsat enkelte forsøgsanlæg og givet støtte til enkelte nye anlæg med en kapacitet på op til 20 MW. Der er tillige småskalaforsøg med at udbringe biokul på landbrugsjord og DCA ved Aarhus Universitet er ved at undersøge en række klima- og miljømæssige samt økonomiske aspekter og forventes at offentliggøre en videnssynthese herom.

Notatet her beskriver biokulpotentialet frem mod 2030 og 2035 under antagelse af en hurtig storskalaudrulning af pyrolyseteknologien. Reduktionspotentialet på 2 mio. ton CO<sub>2</sub>e i landbrugssektoren i 2030 svarer til biokulproduktionen fra groft skønnet ca. 80-370 pyrolyseanlæg med en kapacitet på 20 MW hver, alt afhængigt af, hvilken type biomasse der anvendes samt om der fratrækkes den lagringseffekt der allerede er indregnet på Danmarks klimaregnskab ved alternativ anvendelse.

## 2. Metode og antagelser

Notatet opgør reduktionspotentialet på baggrund af det danske biomassegrundlag. Dvs. ud fra mængden af biokul, der kan fremstilles af dansk biomasse. Herudover vil det tillige være muligt at anvende importeret biomasse, hvormed potentialet for biokulproduktion i teorien vil være meget stort.



## 2.1 Biomassegrundlag

Det danske biomassegrundlag består bl.a. af halm, husdyrgødning, biogasdigestat (fiberrest fra biogasanlæg), spildevandsslam og træ fra danske skove i form af fx træflis, trærester fra savværker samt træaffald (fx afskaffede byggematerialer), have- og parkaffald mm.

Da Danmark fortsat frem mod 2030 ventes at være nettoimportør af træ til anvendelse i primært varmeproduktionen ses der i denne potentialeopgørelse bort fra brug af dansk træ til pyrolyse.

Ofte nævnte mulige kilder til dansk biomasse omtalt af pyrolyseaktørerne er gylle/husdyrgødning, biogasdigestat, halm og spildevandsslam samt digestat fra slambaserede biogasanlæg. Der er tale om betydelige mængder af gylle/biogasdigestat og halm:

- Til brug for KF22 har DCE estimeret, at danske husdyr i landbruget kan forventes at producere ca. 40 mio. ton flydende gødning i form af gylle og ajle samt ca. 4 mio. ton fast gødning og dybstrøelse i 2030. I 2030 antages beregningsteknisk i KF22, at ca. 23 mio. ton gylle vil blive anvendt til biogas. Der forventes således at være en betydelig resterende gyllemængde, som anvendes til gødsning af marker, men hvoraf en del tillige fx potentielt ville kunne anvendes til pyrolyse.
- 23 mio. ton gylle forventes bioforgasset i 2030 sammen med andre typer af biomasse (fx halm, organisk affald fra husholdninger og industri mm) og en mindre del af restproduktet herfra vil være i form af tørstof fra biogasdigestat, som anvendes til gødsning af marker, men som fx tillige potentielt vil kunne anvendes til pyrolyse.
- Der produceres ca. 5,7 mio. ton halm årligt, hvoraf en del i dag anvendes til fyring, foder og strøelse, mens en del ikke bjærges men i stedet nedpløjes.

I det følgende biomassepotentialeestimat tages udgangspunkt i halm. Der ses indtil videre bort fra gylle, digestat og andre typer af biomasse, idet en nærmere kvantificering af fx det tilgængelige kulstofindhold deri (og dermed potentialet ift. biokulproduktion) udestår.

Biomassegrundlaget fra halm fremgår af Tabel 1 Tabel 1.

Tabel 1. Det danske biomassegrundlag fra halm. Gennemsnit fra 2016-2021

| (mio. ton pr. år)        | 2030 | 2035 |
|--------------------------|------|------|
| Halm i alt               | 5,7  | 5,7  |
| Heraf anvendt til fyring | 1,6  | 1,6  |
| Heraf anvendt til foder  | 0,8  | 0,8  |



|                                 |     |     |
|---------------------------------|-----|-----|
| Heraf anvendt til strøelse m.v. | 0,9 | 0,9 |
| Heraf ikke bjærget              | 2,4 | 2,4 |

Kilde: Danmarks statistik 2022. Baseret på halmproduktionen i år 2016-2021.<sup>1</sup>

Halmgrundlaget fordeles på halm til fyring, til foder, til strøelse og som ikke-bjærget.

Det antages her, at den halm der anvendes til foder og strøelse ikke allokeres til pyrolyse.

Som et nedre skøn for biomassepotentialet antages det, at kun den andel af halmproduktionen, der ikke bjærges i dag, kan anvendes til pyrolyse. I praksis forventes det dog, at der altid vil være halm der ikke bjærges, selv når efterspørgslen på halmen er høj. I det nedre spænd på biomassegrundlaget fra halm er det estimeret, at ca. 20 pct. af halmen, svarende til 0,5 mio. ton halm, fortsat ikke vil blive bjærget, hvorfor potentialet beregnes ud fra 1,9 mio. ton halm årligt.

Det er i forbindelse med forberedelsen af KF23 ved at blive undersøgt, om der skal indregnes en ændret kulstoflagring fra ikke bjærget halm. Det kan betyde, at der vil være et større potentiale for at anvende ikke-bjærget halm, end hvad der fremgår af tabel 1.

Som et øvre skøn for biomassegrundlaget, antages det, at al den ikke-bjærgede halm bringes i anvendelse, samt at al halmen til energiformål i stedet benyttes til pyrolyse. Deraf bliver det øvre estimat 4,0 mio. ton halm. Dette opsummeres i Tabel 2.

Tabel 2. Spænd i estimat for biomassegrundlag fra halm

| (mio. ton per år)  | 2030 | 2035 |
|--|------|------|
| <u>Halm til pyrolyse, nedre spænd</u>  | 1,9  | 1,9  |
| Ikke-bjærget halm (2,4 mio. ton) hvoraf 0,5 mio. ton halm fortsat ikke bjærges |      |      |
| <u>Halm til pyrolyse, øvre spænd</u>   | 4,0  | 4,0  |
| Ikke bjærget halm (2,4 mio. ton) samt halm til fyring (1,6 mio. ton)           |      |      |

<sup>1</sup> DCE har til KF22 anvendt en antagelse om at halmforbruget i årene frem mod 2035 vil fordele sig på samme vis som i den historiske periode 2012-2021, hvilket altså adskiller sig lidt fra den periode der vises i tabellen. Der er ikke i KF22 taget højde for at der forventes at blive anvendt mindre halm til fyring og mere halm til bioforgasning. Ift. bioforgasning har DCE ikke indregnet tab af kulstof i biogasanlæg, idet det svært nedbrydelige kulstof muligvis forbliver i digestaten.



Halmproduktionen kan svinge meget fra år til år. I 2018 var halmproduktionen på 4,5 mio. ton, og mængden, der ikke blev bjerget, var blot 0,9 mio. ton. I dårlige høstår vil potentialet derfor være betydeligt mindre end i et gennemsnitsår.

Som nævnt ovenfor forventes der tillige i 2030 at være tørstof fra biogasdigestat fra gylle- og slambaserede biogasanlæg. Det er sandsynligt, at der vil være interesse for at benytte biogasdigestat, dels fordi det kan være meget billigere end halm og dels fordi efterspørgslen på halm til bioforgasning kan stige. Dog har biokul fra biogasdigestat fra gyllebaserede anlæg, som det fremgår af næste afsnit, muligvis en relativt lav effekt ift. at indfri klimalovens drivhusgasreduktionsmål i 2030.

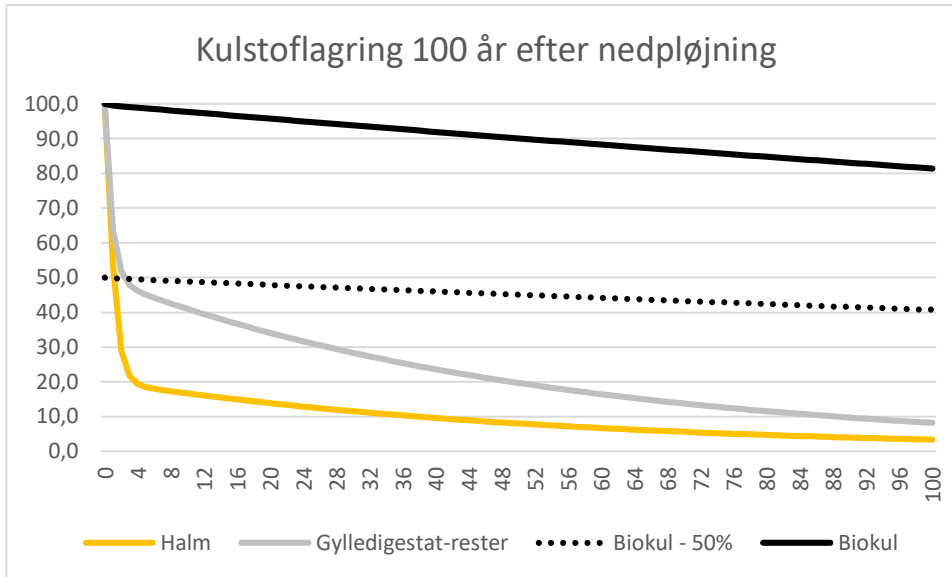
### 2.3 CO<sub>2</sub>-effekt ved nedpløjning af biokul og alternativ biomasseanvendelse

Klimaeffekten ved anvendelse af biomasse til produktion af biokul afhænger dels af, hvor lang tid biokullet er om at blive nedbrudt, dels af størrelsen på den kulstoflagringseffekt der mistes ved at anvende biomassen til pyrolyse. Nedenstående vurdering af klimaeffekten er derfor forbundet med usikkerhed, og der mangler yderligere forskning og vidensopbygning.

I den nuværende landbrugspraksis returneres kulstoffet i halm, gylle, husdyrgødning og biogasdigestat til jorden, gennem udbringning på markerne. Dette er baggrunden for, at DCE har indregnet en kulstoflagringseffekt fra disse biomassekilder i KF22, på baggrund af antagelser om mængder af halm og gylle.

DCA har udviklet den model, kaldet C-tool, som DCE anvender til at opgøre kulstoflagring i mineraljorde. DCA (2022) har, jf. nedenstående figur 1, vurderet, at når halm og gylledigestat nedpløjes, da forbliver over tid en faldende mængde af det nedpløjede kulstof lagret i jorden. Samtidig viser figuren, at en større del af kulstoffet forbliver i jorden, når det tilføres som biokul. Figur 1 illustrerer, at ved nedpløjning af halm og digestat resterer ca. 14% og 34% af kulstoffet i jorden efter 20 år. Det kan bemærkes, at den stiplede kurve i figuren tager højde for, at kun godt halvdelen af biomassens kulstof omdannes til biokul og tilbageføres til marken. Hvis man fx antager, at ca. 50 pct. af kulstoffet, der tilføres i form af rå biomasse, bliver til biokul i et pyrolyseanlæg, tyder figuren således umiddelbart på, at nettolagringseffekten ved biokul vil være ca. tre gange højere end ved nedpløjning af halm, men måske kun lidt højere end ved nedpløjning af digestat.

Energistyrelsen har ikke forudsætninger for at vurdere, hvorvidt de i figur 1 anvendte værdier er repræsentative, da tilbageholdelsen af kulstof i praksis bl.a. afhænger af jordtemperaturen, typen af biomasse og biokullets egenskaber. Tilbageholdelsen af kulstof kan derfor være anderledes, når der lægges andre faktorer til grund end der er anvendt i figur 1. Energistyrelsen vil i forbindelse med udarbejdelsen af KF23 undersøge nærmere hvad implikationerne af nedpløjning af halm og gylle er for reduktionsmankoen i 2030.



Figur 1. Tilbageholdelse af kulstof i jorden over tid ved nedpløjning af halm, digestat og biokul.

Kilde: Figur fra DCA (2022).

I et 100-årigt tidsperspektiv vil kulstofbalancen – og dermed klimaeffekten af biokul – være langt bedre ved nedpløjning af biokul end ved nedpløjning af både halm og gylledigestat, jf. figur 1. For halm vil kun ca. 3% kulstof restere i jorden, mens det for biokul kan være 60-80 eller højere. Hvis man tager højde for at fx 50% af halmens kulstofindhold bliver til biokul og at 81% af biokullet refterer i jorden efter 100 år kan der opnås en mere end 10 gange højere kulstoflagring fra biokul end fra halm efter 100 år. Tilsvarende bliver kulstoflagringen formentlig mere end 3 gange højere ved nedpløjning af biokul af digestat efter 100 år. Dette er en foreløbig vurdering, idet kulstofbalancen forventes belyst nærmere når DCA afrapporterer en videnssynthese om biokul.

### Reduktionspotentiale fra biokul

Det antages, at den samlede halmressource til fremstilling af biokul er 1,9 - 4,0 mio. ton årligt, hvilket ved såkaldt langsom pyrolyse antages at give 0,5-1,0 mio. ton biokul årligt, ud fra produktion af 0,25 ton biokul per ton halm.<sup>2</sup> CO<sub>2</sub>-reduktionen per ton biokul antages at være 2,8 ton CO<sub>2</sub>.<sup>3</sup> Det giver et brutto-reduktionspotentiale på 1,4-2,8 mio. ton CO<sub>2</sub> i 2030 og 2035.

<sup>2</sup> Ved 850 kg tørstofindhold per ton halm og 450 kg kulstofindhold per ton tørstof, samt at 50 pct.% af kulstoffet i halmen bindes i biokul. Biokul antages at bestå af 75 pct.% kulstof per vægt.

<sup>3</sup> Dette svarer til 750 kg kulstof per ton biokul, hvilket er repræsentativt for biokul produceret fra halm.



Ovenstående beregning af reduktionspotentialet fra biokul tager imidlertid ikke højde for, at biomasse som halm og digestat, der bringes ud på landbrugsjord, i forvejen har en kulstoflagrende effekt, der imidlertid aftager over tid. Det betyder, at netto-klimaeffekten fra biokul især på kort sigt vil afhænge af, hvordan biomassen ellers ville være anvendt.

Den halm, der i dag ikke bjærges, har ifølge KF22 (Energistyrelsen 2022) en CO<sub>2</sub>-lagrende effekt på ca. 0,5 mio. ton CO<sub>2</sub> årligt i landbrugsjorde. Da denne effekt er medregnet i KF22 skal de 0,5 mio. ton CO<sub>2</sub> fratrækkes brutto-reduktionspotentialet for biokul. I det øvre spænd fratrækkes 0,5 mio. ton CO<sub>2</sub> fra reduktionspotentialet, idet al halm, der i dag ikke bjærges, antages bjærget og anvendt til pyrolyse. I det nedre spænd fratrækkes 0,4 mio. ton CO<sub>2</sub>, idet omkring 80 pct. af den halm, der normalt ikke bjærges, antages anvendt til pyrolyse. Ud fra spændet i biomassegrundlaget af halm, bliver spændet i reduktionspotentialet på 1,0-2,3 mio. ton CO<sub>2</sub> per år, jf. tabel 3.

*Tabel 3. Reduktionspotentiale for pyrolyse afgrænset ved det danske biomassegrundlag af halm.*

|  | 2030           | 2035           |
|--|----------------|----------------|
| Biomassepotentiale fra halm (mio. ton halm/år)   | <b>1,9-4,0</b> | <b>1,9-4,0</b> |
| Biokulproduktion (mio. ton biokul/år)  | <b>0,5-1,0</b> | <b>0,5-1,0</b> |
| CO <sub>2</sub> -lagring ved nedpløjning af biokul (mio. ton CO <sub>2</sub> /år)  | <b>1,4-2,8</b> | <b>1,4-2,8</b> |
| CO <sub>2</sub> -lagring ved nedpløjning af halm (mio. ton CO <sub>2</sub> /år)  | <b>0,4-0,5</b> | <b>0,4-0,5</b> |
| <b>Reduktionspotentiale for nedpløjning af biokul, korrigeret for reduceret nedpløjning af halm (mio. ton CO<sub>2</sub>/år)</b> | <b>1,0-2,3</b> | <b>1,0-2,3</b> |

Som nævnt er der tillige et potentiale for at anvende tørstof fra biogasdigestat til pyrolyse. Dog vil klimaeffekten på 20 års sigt muligvis være begrænset, såfremt den nuværende landbrugspraksis, hvor biogasdigestat nedpløjes, sikrer en betydelig lagring af kulstof i jorden på kort sigt. Noget tyder således på, at klimaeffekten af biokul fra digestat på 20 års sigt vil være ret beskeden, mens den som nævnt i forrige afsnit kan være betydelig på længere sigt, fx i et 100-års perspektiv.

### Illustration af netto vs. brutto klimaeffekt

Figur 2 nedenfor illustrerer 3 teoretiske scenarier for klimaeffekten på Danmarks nationale klimaregnskab (jf Klimalovens drivhusgasreduktionsmål) af et 20 MW-anlæg i et 20-års perspektiv<sup>4</sup>:

<sup>4</sup> Nettolagringseffekten i mineraljord vil være lavere i et kortere tidsperspektiv, fx i 2030.



- I scenarie 1 anvendes halm, uden at reducere den totale mængde af nedpløjet halm, der er indregnet i Klimafremskrivningen. Biokullet medfører lagring af 25.000 ton CO<sub>2</sub>. Dette kunne fx omfatte halm der ellers var blevet anvendt til fyring i kraftvarmeverker, eller importeret halm. Netto reduktionseffekten fra biokullet bliver derfor 25.000 ton CO<sub>2</sub>. Herudover kan fortrænges fossile brændsler, svarende til groft skønnet ca. 15.000 ton CO<sub>2</sub> såfremt det lykkes at producere brændstof der fx kan anvendes som skibsbrændstof samt fortrænge CO<sub>2</sub>-udledning fra varmeproduktion ved anvendelse af spildvarme. Den samlede årlige CO<sub>2</sub>-reduktion er dermed op til ca. 40.000 ton CO<sub>2</sub> set ift. klimafremskrivningen, forudsat at brændstoffet fortrænger fossil energi i Danmark, fx i indenrigsskibsfart.
- I scenarie 2 anvendes mere halm, hvilket reducerer den totale mængde af nedpløjet halm i fremskrivningen og dermed mindskes netto reduktionseffekten med 7.000 ton CO<sub>2</sub>. Biokullet lagrer 25.000 ton CO<sub>2</sub>. Her bliver nettoresultatet ift. klimafremskrivningen derfor en reduktion (nettolagring) på 1816.000 ton CO<sub>2</sub> årligt. Herudover kan evt. også fortrænges fossile brændsler, svarende til ca. 15.000 ton CO<sub>2</sub>, jf. scenarie 1. I figuren illustreres dog et anlæg der ikke producerer brændstof eller fortrænger fossil varmeproduktion.
- I scenarie 3 anvendes digestat fra biogasproduktionen i stedet for halm til at producere biokul. Det producerede biokul lagrer 19.000 ton CO<sub>2</sub>. Samtidig mistes en lagringseffekt ved alternativ nedpløjning af digestat på 1315.000 ton CO<sub>2</sub>. Her bliver nettoresultatet på klimafremskrivningen derfor en reduktion (nettolagring) på 5.000 ton CO<sub>2</sub> årligt.
- Herudover kan der evt. også fortrænges fossile brændsler. I figuren illustreres dog et anlæg der ikke producerer brændstof eller fortrænger fossil varmeproduktion.

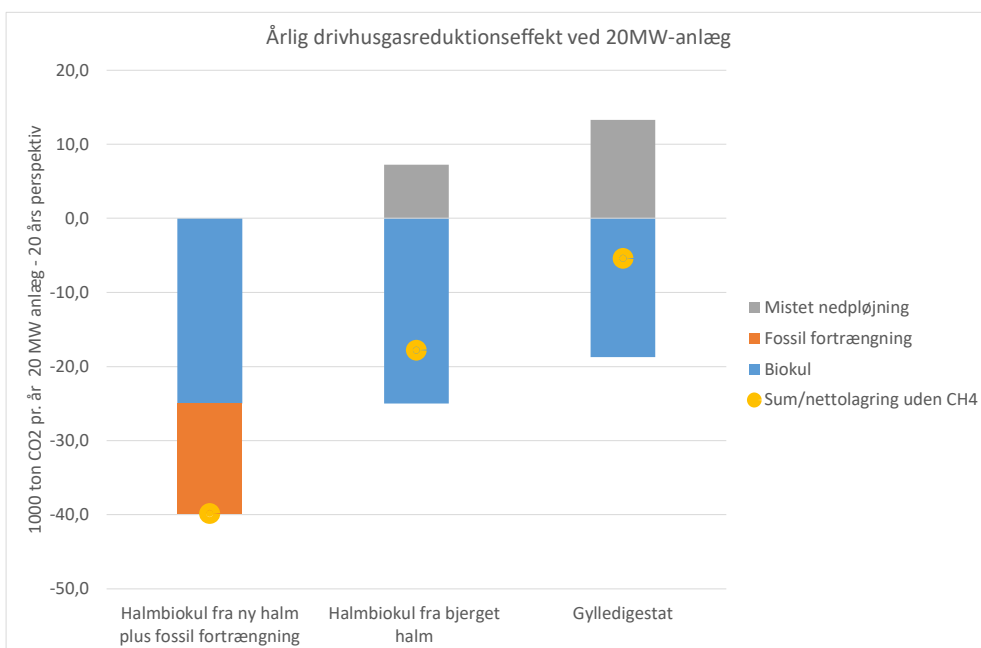
Der er fra aktører i pyrolysebranchen fremsat visioner om at biprodukterne fra pyrolysen skal fortrænge CO<sub>2</sub>-udledning fra fossile brændsler. Dette er ikke inkluderet i alle de illustrative scenarier. Det skyldes dels, at anvendelse af spildvarme i nogle tilfælde kan tænkes at substituere ikke-fossil varmeproduktion samt at der ifølge teknologikataloget er en vis usikkerhed knyttet til om det ved det nuværende teknologistadie vil være økonomisk rentabelt og teknisk muligt at opgradere pyrolysegas til anvendelige olieprodukter, ligesom det er muligt at olieprodukterne vil blive anvendt i fx international transport og dermed ikke bidrage til at reducere Danmarks nationale udledninger. Formålet med figuren er derfor at illustrere, at den samlede årlige klimaeffekt på klimafremskrivningen efter 20 år ved etablering af et 20MW pyrolyseanlæg kan variere fra 5.000-40.000 ton CO<sub>2</sub>e alt efter hvilken biomassekilde der anvendes samt om anlægget bidrager til at substituere fossile brændsler i Danmark. Klimaeffekten i landbrugssektoren<sup>5</sup> kan variere fra 5.000-25.000 ton CO<sub>2</sub>e.

---

<sup>5</sup> Landbrugsaftalens reduktionsmål omfatter ikke energiforbrug. Derfor bidrager substitution af fossile brændsler ikke til at reducere landbrugssektorens udledninger.



Endelig kan det nævnes, at indtil der foreligger et måleprogram der dokumenterer en lav eller ingen metanudledning fra biokulanlæg, da skal der anvendes en standard metanudledningsfaktor fra IPCC for biokulproduktion, som vil svare til en årlig udledning fra et 20 MW-anlæg på ca. 14.000 ton CO<sub>2</sub>e. Dette er ikke inkluderet i figur 2, ud fra en beregningsteknisk forudsætning om anlæggene ikke vil udlede metan. Det vil skulle undersøges nærmere om denne beregningsforudsætning er korrekt.



Figur 2. Illustrative scenarier for klimaeffekten af et 20 MW-anlæg.

## 2.4 Afgrænsning

Følgende aspekter er ikke inkluderet:

- Anvendelse af halm til biogasproduktion eller andre konkurrerende anvendelser: Det er fx sandsynligt at der vil blive anvendt mere halm til biogasanlæg i fremtiden. Samtidig forventes en lavere anvendelse af halm i energisektoren. Der er behov for en nærmere analyse af disse aspekter.
- CO<sub>2</sub>-effekten ved brug af pyrolysegas og pyrolyseolie til fortrængning af fossile brændsler er generelt ikke beskrevet i dette notat.



- Nedbrydning af biokul over tid. Det anslås, at klimaeffekten ved lagring af biokul reduceres til ca. 81 pct. over 100 år baseret på DCA 2022, mens der fortsat rester ca. 3 pct. af nedpløjet halms kulstof efter 100 år.<sup>6</sup>
- Der er ikke set på nettoeffektens i et kortere tidsperspektiv end 20 år. Men nettoeffekten vil muligvis være mindre i fx 2025 og 2030, fordi en større andel af kulstofindholdet i halm og gylledigestat jf. figur 1 forbliver i jorden i de første år efter nedpløjning. Omvendt kommer en del af kulstoffet i biogasdigestat fra andre biomassekilder som fx industri- og husholdningsaffald eller spildevandsslam, hvoraf nedpløjning ikke er medregnet i DCE's fremskrivning, hvorfor anvendelse af biogasdigestat fra disse biomassekilder ikke medfører tab af kulstoflagring ved mistet nedpløjning set ift. fremskrivningen.

### 3. Teknisk reduktionspotentiale i 2030 og 2035

Der er stor usikkerhed om reduktionspotentialet for biokul fra pyrolyse.

Usikkerheden skyldes bl.a. følgende forhold:

- Flaskehalse i opførsel af et betydeligt antal pyrolyseanlæg inden 2030 og 2035.
- Usikkerhed om hvor meget biokul, der årligt kan udbringes per hektar.
- Usikkerhed om CO<sub>2</sub>-lagringseffekten for biokul, halm, gylle og digestat.
- Usikkerhed om den jordforbedrende effekt, herunder potentielt miljø- eller sundhedsskadelige effekter og dermed usikkerhed ift. hvorvidt og hvornår regulering vil muliggøre storskalabrug af biokul på landbrugsjord.
- Usikkerhed om biomassepotentialet, som potentielt kan være mindre idet en del af den halm der ikke bjærges i dag formodentlig vil indgå i biogasproduktion, men også kan være større, idet andre biomassetyper end halm og digestat kan pyrolyseres, og idet mængden af fx halm kan øges gennem ændret sortsvalg mv.
- Usikkerhed om biokuludbyttet ved pyrolyse af forskellige biomassetyper og driftsbetingelser for pyrolyseanlæg.

### 4. Overlap mellem reduktionspotentialer

Følgende overlap er identificeret:

- Overlap med anden anvendelse af biomasse, fx halm til biogas og anden CCS/CCUS. Overlappet til biogas antages at være op til 100 pct., idet det ikke er sikkert om biomassen kan udnyttes 100 pct. i to anvendelser for at opnå kaskadeudnyttelse af halmen ved at fiberfraktionen fra biogas

---

<sup>6</sup> DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, *Afklaring om videns- og ressourcebehov ved at integrere biokul i C-TOOL modellen til brug for emissionsopgørelser*, 2022.



pyrolyseres og fordi at klimaeffekten forbundet med nedpløjning af halm er indregnet i KF22.

## 5. Omstillingshastighed

Det antages under stor usikkerhed at omstillingshastigheden for indfrielse af det fulde potentiale er 4-8 år. Idet der er tale om opførelse af mange enkeltanlæg antages det at reduktionspotentialet indfries med løbende effekt.

Omstillingshastigheden er skønnet under antagelse om at teknologien er moden, at effekten er dokumenteret og at alle regler kommer på plads. Det skønnes under stor usikkerhed at anlægstiden for det enkelte pyrolyseanlæg er ca. 2 år.<sup>7</sup> Der er ikke foretaget en vurdering af om det er realistisk eller økonomisk rentabelt at etablere det nødvendige antal biokulanlæg for at realisere reduktionspotentialet.

Et stort pyrolyseanlæg med en kapacitet på omkring 20 MW antages at omsætte omkring 40.000 ton halm eller digestat om året. Groft skønnet vurderes det at der vil skulle opføres og idriftsættes ca. 80-370 anlæg af 20 MW inden 2030 for at omdanne de fornødne mængder halm eller digestat til biokul for at kunne opnå en nettoreduktionseffekt på 2 mio. ton CO<sub>2</sub>e i landbrugssektoren. Det lave skøn gælder, hvis anlæggene anvender halm uden at der mistes lagringseffekt fra nedpløjning (scenarie 1 illustreret i figur 2), mens det høje skøn gælder hvis der er tale om anlæg baseret på digestat (scenarie 3 i figur 2).<sup>8</sup>

Tabel 4 viser den nødvendige anlægsindfasning i 2025-2029 til at opnå 80-370 anlæg i 2030, ved en anlægstid på 2 år og med samme antal anlæg opført hvert år mellem 2025 og 2029. Anlæg hvor anlægsarbejde påbegyndes efter 2027 kan ikke nå at bidrage til reduktioner i hele 2030, idet anlægstiden for det enkelte anlæg antages at være 2 år. Med denne indfasningsprofil skal der opføres 16-74 20 MW-anlæg om året fra 2025 og frem til 2029 for at nå reduktionspotentialet i 2030. Til sammenligning er det største eksisterende danske demonstrationsanlæg på 2 MW, mens der er givet tilskud til opførelse af et demonstrationsanlæg på 20 MW (Energistyrelsen 2022c).

*Tabel 4. Indfasning af antal 20 MW-pyrolyseanlæg til indfrielse af reduktionspotentialet for pyrolyse af halm.*

|              | 2025  | 2026  | 2027  | 2028  | 2029  | I alt i drift 2030 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|
| Anlæg per år | 16-74 | 16-74 | 16-74 | 16-74 | 16-74 | 80-370             |

<sup>7</sup> Energistyrelsen, Teknologikataloger, 105 Slow Pyrolysis, seneste version hentet juni 2022.

<sup>8</sup> Det er ikke undersøgt hvor meget biogasdigestat og anden biomasse der vil være til rådighed ift. at bygge et stort antal anlæg.



## 6. Nyt i forhold til KP21

I KP21 var omstillingselementet 'Brun bioraffinering som for eksempel pyrolyse' angivet med et reduktionspotentiale på 2 mio. ton CO<sub>2</sub> i 2030. Reduktionspotentialet i KP21 var baseret på regeringsoplægget til *Grøn omstilling af landbruget*, og var ikke udarbejdet af Energistyrelsen.

## 7. Refleksion og mulig udvikling til fremtidig KP

En række udgivelser vedrørende pyrolyse forventes udgivet i nærmere fremtid, herunder delstrategi om pyrolyse i *Strategi for de tekniske reduktionspotentialer i landbrugsaftalens udviklingsspor* (Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri) og en opdatering af +10 mio. ton-planen (IFRO+AU), samt Videnssyntese om anvendelse af biokul i dansk landbrug fra Aarhus universitet, DCA.

## 8. Kilder

Danmarks statistik 2022, Halmstatistik.

Energistyrelsen 2022a, KF22: Klimastatus og –fremskrivning 2022.

Energistyrelsen 2022b, Teknologikatalog, 105 Slow Pyrolysis.

Energistyrelsen 2022c, <https://via.ritzau.dk/pressemeddelelse/pyrolysepuljen-tre-projekter-modtager-194-mio-kr-til-gron-omstilling-af-dansk-landbrug?publisherId=13560344&releasId=13654498>.

DCA 2022 – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, *Afklaring om videns- og ressourcebehov ved at integrere biokul i C-TOOL modellen til brug for emissionsopgørelser*, 2022, [https://pure.au.dk/portal/files/269069435/Biokul\\_og\\_CTOOL\\_1705\\_2022.pdf](https://pure.au.dk/portal/files/269069435/Biokul_og_CTOOL_1705_2022.pdf).